

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroniky

Návrh a realizace převodníku
USB/COM
Design and practical realization USB/COM
converter

2010

Martin Borski

Prohlášení studenta

„Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.“

V Ostravě dne 7. května 2010

.....

Martin Borski

Poděkování

Za vedení práce a poskytnutí odborné pomoci bych chtěl poděkovat Ing. Petru Šimoníkovi, Ph.D.

Abstrakt

Hlavním cílem této bakalářské práce je návrh a realizace laboratorního modelu karty převodníku USB/COM s využitím převodníku s integrovanou pamětí. V teoretické části práce jsou shrnuty principy a způsoby využití tohoto převodníku. Součástí úvodních kapitol jsou základní vlastnosti USB a sériového portu a přenos pomocí těchto rozhraní. Následující kapitoly popisují obvody FT232R od firmy FTDI a MAX213 od firmy MAXIM, které tvoří hlavní kostru v zapojení. V další části je v jednotlivých krocích popsána instalace ovladače. V poslední kapitole je nastíněno naprogramování vnitřní paměti typu EEPROM obvodu FT232R. Ověření funkčnosti daného přípravku pomocí osciloskopu a zpracování laboratorní úlohy jsou součástí přílohy.

Klíčová slova

Převodník, převodník USB/COM, USB, sériový port, RS232, sériový přenos, ovladač

Abstract

The main aim of the bachelor thesis is a blueprint and the implementation of a USB/COM converter board laboratory prototype with making use of a converter with an integrated memory. In the theoretical part, the principles and techniques of this converter utilization are summarized. The main USB and serial port properties and the transfer by these interfaces are the parts of introduction chapters. The following chapters describe circuits FT232R by FTDI and MAX213 by MAXIM, which create the main skeleton in the circuit. In the following part, the installation of the driver is described step by step. In the last chapter, the EEPROM (circuit FT232R) internal memory programming is outlined. The given model function verification by means of oscilloscope and the elaboration of laboratory work are the components of the appendix.

Key words

Converter, converter USB/COM, USB, serial port, RS232, serial transfer, driver

Seznam použitých zkratk a symbolů

CDM	(Combined Driver Model), kombinovaný ovladač od firmy FTDI, zahrnuje v sobě rozhraní D2XX a virtuální port COM
CMOS	(Complementary Metal Oxid Semiconductor), technologie výroby integrovaných obvodů
COM	označení sériového portu v příručkách
EMI	(ElectroMagnetic Interference), elektromagnetická interference – zhoršení provozu přístroje, zařízení nebo systému způsobené elektromagnetickým rušením
EEPROM	(Electrically Erasable Programmable Read Only Memory) elektricky mazatelná a programovatelná paměť
FIFO	(First In First Out), jsou to paměti typu posuvných registrů. Data do nich zapsaná jako první se musí jako první i číst
FPGA	(Field Programmable Gate Array), programovatelné pole hradel
LDO	(Low Drop-Out) snižující regulátor
MCU	(Machine Control Unit), řídicí jednotka přístroje
NRZI	(Non Return To Zero Inverted), metoda pomocí níž se získává hodinový signál přímo z datového toku.
PLD	(Programmable Logic Device), programovatelné logické zařízení
SOP	(Small-Outline Package), typ pouzdra integrovaného obvodu
SSOP	(Shrink Small-Outline Package), typ pouzdra integrovaného obvodu
TTL	(Transistor Transistor Logic), tranzistorově tranzistorová logika
UART	(Universal Asynchronous Receiver Transmitter), univerzální asynchronní přijímač a vysílač
USB	(Universal Serial Bus), univerzální sériová sběrnice
VCP	(Virtual COM Port), virtuální port COM. Ovladač od firmy FTDI, který emuluje činnost portu RS232

Obsah

Úvod	1
1 USB (Universal Serial Bus).....	2
1.1 Základní vlastnosti	2
1.2 Popis konektoru	3
1.3 Sériový přenos	4
1.4 Způsob kódování.....	5
1.5 Enumerace (rozpoznávání zařízení).....	6
1.6 Typy přenosů	7
2 Sériová linka	8
2.1 Základní vlastnosti	8
2.2 Přenos dat.....	9
2.3 Elektrické charakteristiky	10
3 Popis obvodu FT232R	10
3.1 Oblasti aplikace.....	11
3.2 Blokové schéma	11
3.3 Integrovaný obvod a schématická značka.....	14
3.4 Popis jednotlivých vývodů.....	14
4 Popis obvodu MAX213	16
5 Převodník USB na COM	18
5.1 Obvodové řešení	18
5.2 Instalace ovladače pro Windows XP	18
5.3 Naprogramování vnitřní EEPROM obvodu FT232R	25
Závěr.....	27
Literatura	28
Seznam příloh.....	Chyba! Záložka není definována.

Úvod

Postupem času začíná univerzální sériová sběrnice (USB) nahrazovat sériový port RS232. Proto se často stává, že u nových počítačů a notebooků už sériovou linku vůbec nenalezneme. Je nahrazena stále větším počtem USB portů. Ještě ovšem existují případy, kde se sériová linka RS232 používá. Pokud chceme data přenést mezi zařízeními s linkou RS232 a USB nezbyvá nám nic jiného, než použít převodník mezi těmito rozhraními.

Na trhu existuje celá řada těchto převodníků od různých výrobců. Řadí se mezi ně i firma FTDI, která vyrábí moduly převodníků i samotné součástky pro výrobu konvertorů. Jeden z jejich nejnovějších čipů nese označení FT232RL a je právě určen pro tuto aplikaci. Proti starší verzi obvodu má v sobě integrovány mnohé podpůrné obvody a součástky a díky tomu se nám podstatně zjednoduší návrh zapojení. Tento obvod by nám ale pro vytvoření převodníku nestačil. Důvodem je to, že rozhraní RS232 používá napěťové úrovně, které neodpovídají žádné logice. TTL logika využívá napětí ± 5 V a sériová linka pracuje s napětím okolo ± 10 V. Jedním z možných řešení, které zabezpečuje tento převod je obvod MAX213CWI od firmy Maxim, ten převádí napětí TTL úrovně na napětí, které využívá RS232. Firma Maxim udělala tímto směrem veliký pokrok, když vyvinula obvod, který je napájen +5 V a pomocí 4 externích kondenzátorů si vyrobí napětí potřebné pro linku RS232.

Nedílnou součástí zapojení jsou i oba konektory, bez nichž bychom se nemohli na dané zařízení připojit. Nejvyužívanějším konektorem USB je plochý konektor typu A, použitý ve všech zařízeních s USB porty. Pro spojení se sériovou linkou používáme konektor CANNON v provedení s počtem 9 vývodů.

Pokud se podíváme na srovnání obou portů, jednoznačně dominuje USB, jehož vlastnosti jsou v mnoha případech lepší než u RS232. Jde například o šířku pásma, kterou má USB větší, co se týče přenosové rychlosti, tak i nejpomalejší verze USB s přenosovou rychlostí 1,5 Mb/s, mnohonásobně převyšuje rychlost sériové linky. Obrovskou výhodou je také to, že při využití rozdělovače sběrnice (hub), je možné na sběrnici USB připojit až 127 zařízení. Některá zařízení, která připojíme na port USB, mohou využívat napájecí napětí, které jim sběrnice dodá. Odpadá tedy nutnost napájecího kabelu. V neposlední řadě, můžeme USB zařízení odpojovat a připojovat za provozu.

Na druhou stranu nesmíme linku RS232 zcela ztracovat, i ona má své přednosti, především v jednoduchosti zařízení oproti USB. Systém USB má minimálně jeden řadič, využívající rozsáhlý program pro práci s USB. Také je nutný ovladač, jehož psaní je poměrně složité. A při vývoji jsme omezeni tím, že každé USB zařízení má přidělené číslo dodavatele (vendor ID).

Bohužel ani tyto skutečnosti nezabrání zániku portu RS232, který byl v minulosti tak hojně využíván.

1 USB (Universal Serial Bus)

1.1 Základní vlastnosti

Jedná se o sériové rozhraní. Data jsou přenášena po jednotlivých bitech a po stejných linkách oběma směry. Způsob přenosu je tzv. diferenční a to kvůli tomu, aby byl omezen vliv rušení. Ke sběrnici USB lze připojit až 127 zařízení na vzdálenost maximálně 5 m, čím více zařízení je připojeno, tím je vzdálenost vedení kratší. Sběrnice podporuje Plug&Play, což umožňuje připojit a odpojit zařízení za provozu. Používaný systém ihned rozpozná nově připojené zařízení a automaticky k němu zavede ovladač. Zařízení připojené ke sběrnici je napájeno +5 V přímo z konektoru a může běžně odebírat proud 100 mA (maximálně však 500 mA pomocí speciálního přihlášení). Existují dva typy zařízení, buď napájená z vlastního zdroje (self-powered), nebo napájena přímo ze sběrnice USB (bus-powered).¹ Je možné zvolit oba způsoby napájení. Rozdílové signály na datových vodičích D+ a D- mají napěťové úrovně 0 V až 3,3 V. V tabulce (Tab. 1.1) jsou uvedené výkony přenosu, které platí pouze pro jedno připojené zařízení. Pokud počítač spolupracuje s více zařízeními, dělí se šířka pásma mezi tyto zařízení.²

Tab. 1.1: Verze USB a přenosové rychlosti

Verze	Rychlost	Přenosový výkon
USB 1.1/2.0	Low Speed	1,5 Mb/s
USB 1.1/2.0	Full Speed	12 Mb/s
USB 2.0	High Speed	480 Mb/s

Zdroj: MATOUŠEK, David. *USB prakticky s obvody FTDI*. str. 13

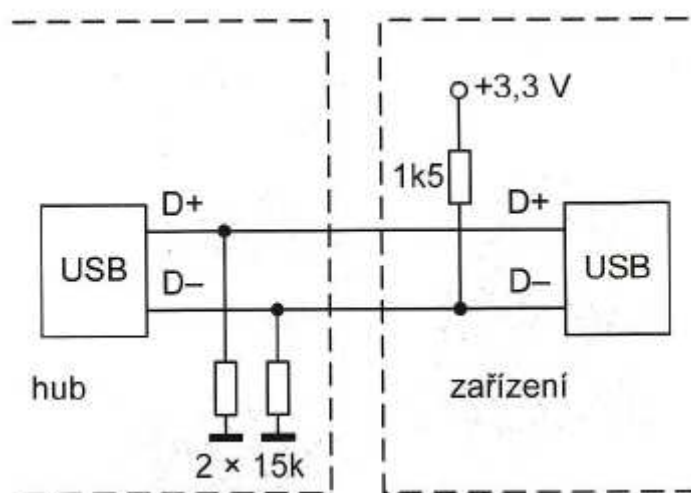
Jak uvádí Matoušek (2003, str.12) „Použitou přenosovou rychlost definují sama zařízení:

- Low Speed zařízení připojuje pull-up rezistor 1,5 k Ω mezi D- a 3,3 V,
- Full Speed zařízení připojuje pull-up rezistor 1,5 k Ω mezi D+ a 3,3 V,
- High Speed zařízení se detekují stejně jako zařízení Full Speed s tím, že změna rychlosti se řeší programově.

Připojení pull-up rezistoru na D+ nebo D- zároveň hubu sděluje, že je připojeno zařízení, protože jinak jsou linky taženy směrem k 0 V pomocí pull-down rezistoru (snižovacích rezistorů) velikosti 15 k Ω .“

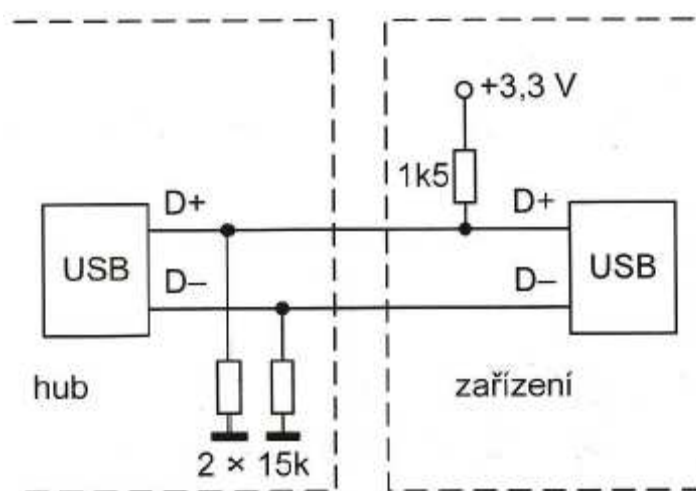
¹ KAINKA, Burkhard. *USB - měření, řízení a regulace pomocí sběrnice USB*. str. 12

² MATOUŠEK, David. *USB prakticky s obvody FTDI*. kapitola 1



Obr. 1.1 Low Speed zařízení

Zdroj: MATOUŠEK, David. *USB prakticky s obvody FTDI*. str. 14



Obr. 1.2 Full Speed nebo High Speed zařízení

Zdroj: MATOUŠEK, David. *USB prakticky s obvody FTDI*. str. 14

1.2 Popis konektoru

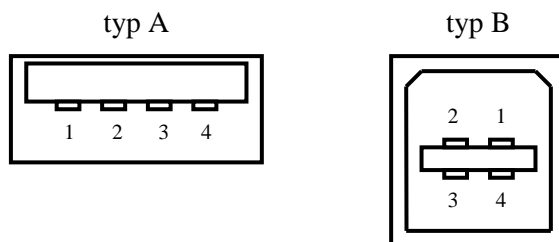
USB konektor se skládá ze 4 vývodů, jejich funkce je popsána v následující tabulce (Tab. 1.2). Rozložení těchto vývodů je vždy shodné.

Tab. 1.2 USB konektory

Číslo vývodu	Význam
1	+ 5 V (U_{cc})
2	Data - (negovaná data)
3	Data + (přímá data)
4	GND (zem)

Zdroj: MATOUŠEK, David. *USB prakticky s obvody FTDI*. str. 12

Rozlišují se dva typy USB konektorů. Plochý konektor typu A se dnes nachází ve větším počtu u všech nových počítačů. Slouží hlavně pro připojení menších zařízení, jako jsou myši apod. Konektor typu B je určen pro připojení rychlejších periferních zařízení, například tiskárny, která se k počítači připojí přes USB kabel typu A-B, což znamená, že na jednom konci je konektor typu A a na druhém konci konektor typu B, záměna těchto konektorů není možná. Kabel typu A-A se používá málokdy. Propojení kabelů je vždy 1:1.³



Obr. 1.3 Typy konektorů USB

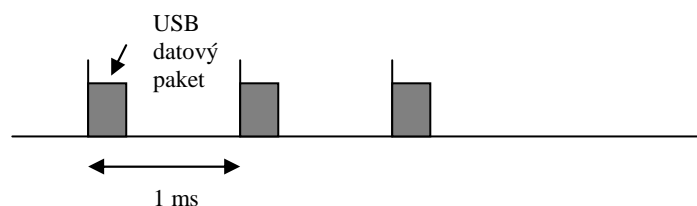
Zdroj: MATOUŠEK, David. *USB prakticky s obvody FTDI*. str. 12

1.3 Sériový přenos

Sběrnice obsahuje jen jedno zařízení typu master. Veškerou činnost spojenou s přenosem dat řídí počítač. Žádné zařízení nemůže samo od sebe začít vysílat data, ty se přenášejí v tzv. packetech, o délce od 8 do 256 bajtů. Pro izochronní přenos to může být až 1024 bajtů. Rámy (frame) uskutečňují celkový přenos dat. Délka jednoho rámu je přesně 1 milisekunda. Uvnitř jednoho rámu se zpracovávají pakety pro více zařízení, přitom nezáleží na tom, jestli se jedná o pomalé (low-speed) nebo rychlé (full-speed) pakety. V případě, že počítač pracuje s více zařízeními, jsou rozděleny pomocí rozdělovače sběrnice (hub). Zajišťuje také, aby na pomalá zařízení nebyly vedeny signály s vysokou rychlostí. Low-Speed zařízení má délku jednoho bitu přesně 666,7 ns, High-Speed zařízení 83,33 ns. Rychlost přenosu je určována výhradně masterem.⁴

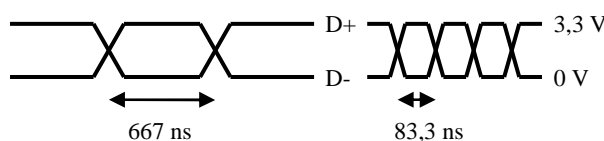
³ MATOUŠEK, David. *USB prakticky s obvody FTDI*. str. 12

⁴ KAINKA, Burkhard. *USB - měření, řízení a regulace pomocí sběrnice USB*. str. 12



Obr. 1.5 Datové pakety v rámech 1 ms⁴

Zdroj: KAINKA, Burkhard. *USB - měření, řízení a regulace pomocí sběrnice USB*. str. 12

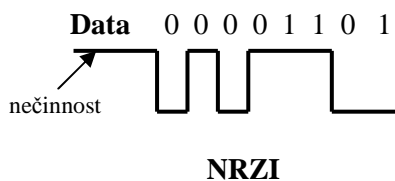


Obr. 1.6 Pomalé (low-speed) a rychlé (full-speed) signály

Zdroj: KAINKA, Burkhard. *USB - měření, řízení a regulace pomocí sběrnice USB*. str. 12

1.4 Způsob kódování

Pro podřízené zařízení (Slave) je nutné se zasynchronizovat na tok dat. Jelikož se hodinový signál nepřenáší po zvláštní lince, je kmitočet přenosu získáván z datového signálu. Metoda NRZI (Non Return To Zero Inverted) se používá právě k tomuto účelu. Obsahuje-li datový signál nuly, dochází ke změně logické úrovně, naopak při jedničce ke změně nedojde.



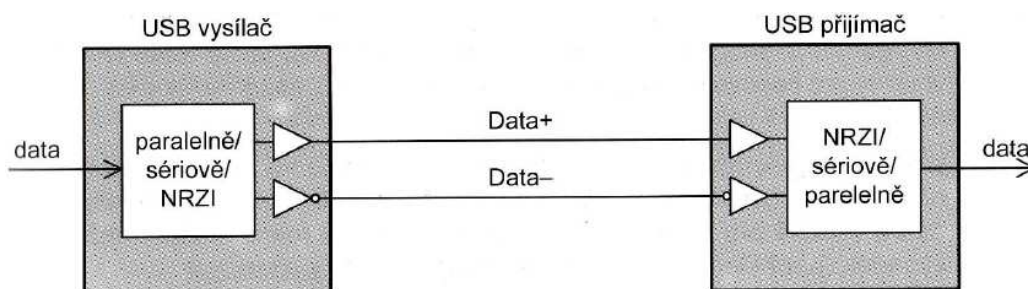
Obr. 1.7 NRZI kódování

Zdroj: MATOUŠEK, David. *USB prakticky s obvody FTDI*. str. 14

Kódování a následné dekódování je záležitostí pouze hardwaru. Hlavním úkolem přijímače je získání hodinového signálu, příjem a detekce dat. Pomocí speciálních prostředků nedochází ke ztrátě synchronizace.

Pokud obsahuje původní tok dat šest jedniček jdoucích za sebou, vysílač za tento sled automaticky přiřadí nulu, aby došlo ke změně úrovně. To je nutné z důvodu obnovy hodinového kmitočtu z toku dat. Jedná se o techniku vsouvání bitů (bit-stuffing). Na straně přijímače je pak tato nadbytečná nula odstraněna (bit-unstuffing).

Každý datový paket zavádí speciální bajt, tzv. sync-bajt (00000001b) za účelem synchronizace.⁵ Podle Kainky (2003, str. 15) „Přijímač v důsledku kódování NRZI a vsouvání bitů vidí osm střídajících se bitových stavů, na které se může zasynchronizovat. Během následujícího přenosu musí synchronizace zůstat zachována. Všechny tyto procesy se odehrávají pouze v odpovídajících hardwarových součástkách, které – podobně jako UART pro RS232 – přebírají vlastní práci. Na jednom konci se tedy vysílají data, která se na druhém konci opět objevují.“



Obr. 1.7 Vysílač a přijímač USB

Zdroj: MATOUŠEK, David. *USB prakticky s obvody FTDI*. str. 15

Přijímač i vysílač se společně realizují v jedné součástce. Jednotka SIE (Serial Interface Engine) obsažena v zařízení USB, přebírá danou práci. Výměnu dat mezi SIE a ostatními zařízeními zprostředkovávají buffery (vyrovnávací paměti) typu FIFO. FIFO jsou paměti, které přijímají a vysílají data na principu posuvných registrů, zároveň dokáží sladit různé rychlosti USB zařízení a sběrnice USB.

Zařízení USB obsahuje několik pamětí typu FIFO pro přenos dat. K adrese zařízení pak musí být přidána i adresa tzv. endpointu (koncového bodu). Ta nám udává použitou FIFO, tedy kam se data ukládají a odkud se mají načíst.⁵

1.5 Enumerace (rozpoznávání zařízení)

Sběrnice USB má jednu velkou výhodu, podporuje Plug&Play. To znamená, že operační systém (OS) automaticky rozpozná nově připojené zařízení přes sběrnici USB. Dále se OS informuje o parametrech zařízení, aby mohl zavést odpovídající ovladač a komunikovat se zařízením. Pak následuje ohlášení zařízení a přiřazení sběrnice adresy tomuto zařízení. Tyto kroky (enumerace) provádí automaticky operační systém (OS).

Celá enumerace se děje ve formě tzv. deskriptorů, což je přesně definovaný blok dat, ze kterých získá OS informace o nově připojeném zařízení. Tyto odpovídající řídicí dotazy směřuje počítač na endpoint 0, odkud tyto data získá.⁶

⁵ KAINKA, Burkhard. *USB - měření, řízení a regulace pomocí sběrnice USB*. str. 14

⁶ MATOUŠEK, David. *USB prakticky s obvody FTDI*. str. 16

Podle zdvižené linky D+ hub pozná, že je připojeno nové zařízení. Poté probíhají následující kroky, které popsal Matoušek (2003, str. 16) takto:

- 1) *Hub informuje hostitelský počítač (host), že je připojeno nové zařízení.*
- 2) *Host se dotáže hubu, na který port je zařízení připojeno.*
- 3) *Host vydá příkaz k aktivaci tohoto portu a k provedení reset USB sběrnice.*
- 4) *Hub vyvolá USB reset (nulování signál) o délce 10 ms a uvolní pro zařízení proud 100 mA. Jednotka SIE následně vyvolá reset mikrokontroléru a tak je zařízení připraveno.*
- 5) *Než zařízení obdrží vlastní sběrniceovou adresu, je možno se na něj obracet přes implicitní adresu 0. Host čte první bajty deskriptoru, aby stanovil délku datových paketů.*
- 6) *Host přiřadí zařízení jeho sběrniceovou adresu.*
- 7) *Host si pomocí nové sběrniceové adresy načte všechny informace obsažené v deskriptoru zařízení.*
- 8) *Host přiřadí zařízení jednu z možných konfigurací. Zařízení pak může odebírat tolik proudu, kolik je stanoveno v aktivovaném konfiguračním deskriptoru. Tím je tedy připraveno k použití.*

„Řídící dotazy jsou uloženy do endpointu 0. Po analýze se rozpozná druh dotazu, určité klíčové bajty datového paketu pak definují požadavek na deskriptor zařízení. Mikrokontrolér odpoví zápisem deskriptoru do výstupního endpointu 0, odkud si je hostitel přečte.

Po prvním přístupu obdrží zařízení definitivní sběrniceovou adresu, která se musí zapsat do SIE proto, aby mohly být přijímány následující datové pakety směřované na zařízení.“

1.6 Typy přenosů

Rozlišují se čtyři druhy přenosu, rozdíl je především v tom, jakou dotaci rámu kořenový hub přenosu přidělí.

Řídící přenos (Control transfer)

Používá se při konfiguraci zařízení při jeho připojení a k řízení přenosu, priorita tohoto přenosu je vysoká a pracuje s automatickým hlídáním chyb. Až 64 bajtů je možné přenést během jednoho dotazu.

Přenos při přerušení (Interrupt-transfer)

Tento režim používají zařízení, které periodicky vysílají malé množství dat (např. klávesnice, myš). Root hub periodicky vysílá např. co 10 ms rámce, ve kterých se ptá na nová data. Obvykle se přenesou 8 bajtů na jeden dotaz.

Izochronní přenos (Isochronous-transfer)

U tohoto typu se vytváří přenos a zpracovávají se data v reálném čase, data se v něm přenášejí ve velkém množství. Přesné časování se zajišťuje rovnoměrným rozložením úseků, po kterých se data

přijímají a vysílají. Přenosová rychlost je přesně definovaná s minimálním zabezpečením. Je určen pro systémy, kde jednotlivé chyby přenosu nebo chybné pakety představují menší riziko než výpadek v přenosu. Příkladem je digitálně přenášený hlas nebo audiokonference.

Hromadný přenos (Bulk-transfer)

Tímto přenosem je možné přenést velké množství dat, která vyžadují zabezpečení, ale nejsou časově kritická (tiskárna, skener). Tento přenos má nastavenou nízkou prioritu, to znamená, že rychlost přenosu se řídí podle vytížení sběrnice.⁷

2 Sériová linka

2.1 Základní vlastnosti

Sériový port je součástí každého počítače. Z příruček je znám pod označením COM. Jejich první použití bylo spojení počítače s modemem pro přenos dat po telefonní lince, dále se používal pro připojení například tiskárny, myši nebo měřících přístrojů. Dnes už je nahrazen USB portem. Často je nutné přenášená data převést ze sériového tvaru na paralelní, což je nevýhoda. Sériové rozhraní se skládá ze dvou výstupních a čtyř vstupních linek, které lze řídit jednoduchými příkazy. V tabulce (Tab. 2.1) jsou popsány jednotlivé vývody u konektoru s devíti piny.⁸

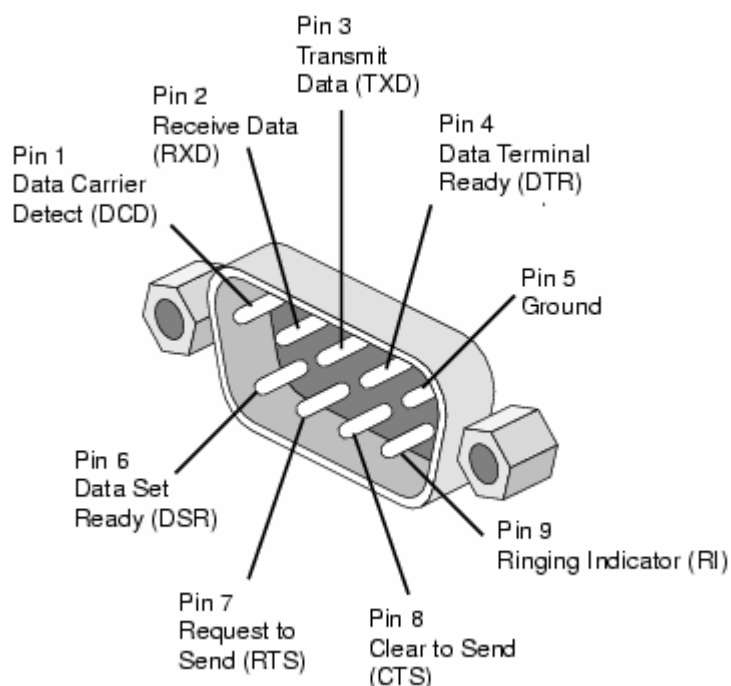
Tab. 2.1: konektory sériového portu

Číslo vývodu	In/Out	Označení	Funkce
1	In	DCD (Data Carrier Detect)	Detektor přijímaného signálu
2	In	RxD (Receive Data)	Přijímaná data
3	Out	TxD (Transmit data)	Vysílaná data
4	Out	DTR (Data Terminal Ready)	Pohotovost DTE
5		GND (Ground)	Signálová zem
6	In	DSR (Data Set Ready)	Pohotovost DCE
7	Out	RTS (Request To Send)	Výzva k vysílání
8	In	CTS (Clear To Send)	Pohotovost k vysílání
9	In	RI (Ring Indicator)	Indikátor volání

Zdroj: KAINKA, Bukhard. *Využití rozhraní PC*. str. 8

⁷ MATOUŠEK, David. *USB prakticky s obvody FTDI*. str. 15, 16

⁸ KAINKA, Bukhard. *Využití rozhraní PC*. str. 8



Obr. 2.1 Vývody konektorů v 9 pólovém provedení

Zdroj: TIŠNOVSKÝ, Pavel. *Root.cz* [online].

2.2 Přenos dat

Data na sériovém portu se přenášejí po dvou linkách TxD a RxD. Jedná se o asynchronní přenos s pevně danou rychlostí. Data se synchronizují sestupnou hranou startovacího impulsu.⁹ Ostatní vývody jsou pomocné a plní funkce pro organizaci a řízení datového přenosu. Obvykle jsou známy pod pojmem „handshake“, neboli řízení toku dat. Pomocí těchto linek se potvrzuje platnost přenášených dat mezi připojenými zařízeními. Výhoda těchto vedení je v tom, že jejich stav je možno číst nebo programově nastavit.¹⁰

⁹ OLMR, Vít. *Hw.cz* [online].

¹⁰ KAINKA, Bukhard. *Využití rozhraní PC*. str. 9

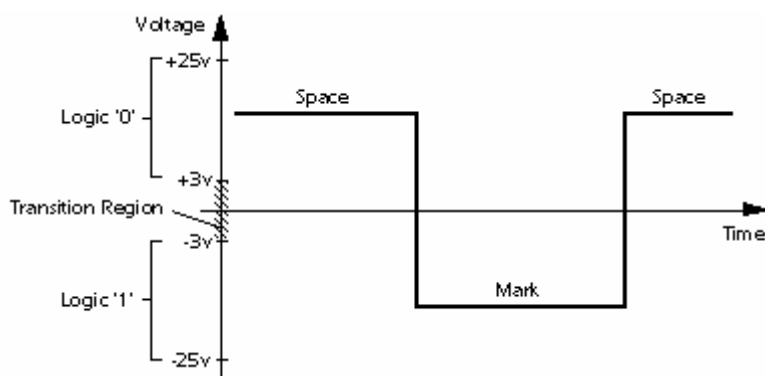
2.3 Elektrické charakteristiky

Standard RS232 využívá dvou napěťových úrovní logická 1 (tzv. marking state nebo klidový stav) a logická 0 (space state). Výstupní vodiče přenášejí kladnou úroveň logickou 0 a zápornou logickou 1. Rozsah napěťových úrovní je uveden v tabulce (Tab. 2.2).

Tab. 2.2: rozsah napěťových úrovní RS232

Úroveň	Vysílač	Přijímač
Log 0	+5 V až +15 V	+3 V až +25 V
Log 1	-5 V až -15 V	-3 V až -25 V
nedefinovaný	-3 V až +3 V	

Zdroj: OLMR, Vít. *Hw.cz* [online].



Obr. 2.2 signál linky RS232

Zdroj: OLMR, Vít. *Hw.cz* [online].

3 Popis obvodu FT232R

Jedná se o převodník USB ↔ UART. Díky své architektuře zjednodušuje návrhy a snižuje počet externích komponent proti starší verzi obvodu FT232BM. Na jednom čipu má integrovány paměť typu EEPROM velikosti 1024 bitů, resetovací obvod, regulátor napětí 3,3 V pro obvody USB, USB teplotně závislé rezistory, obvod hodin, který nevyžaduje externí krystal a mnoho podpůrných obvodů. Paměť EEPROM má v sobě uložené informace o výrobku (identifikátor výrobku, dodavatele, sériové číslo a popis výrobku) a lze v ní nastavovat konfiguraci vstupně/výstupních vývodů CBUS. Hodinový obvod je navržen tak, aby pracoval co nejefektivněji s USB host řadičem a aby měl k dispozici co nejméně z celkové šířky pásma USB. Dále je obvod plně kompatibilní se standardem USB 2.0. Rychlost přenosu dat je nastavitelná v širokém rozsahu od 300 Bd do 3 MBd.¹¹

¹¹ FT232R USB UART IC Data Sheet [online].

3.1 Oblasti aplikace

Hlavní využití obvodu FT232R je právě v převodnicích USB na RS232/RS422/RS485. Další možnosti využití je v rozhraní pro MCU/PLD/FPGA připojené pomocí USB, a také pro jiné zařízení, které využívají pro svůj přenos toto rozhraní, jako jsou PDA, programovatelné součástky, čtečky karet a čárových kódů, MP3 přehrávače, modemy, digitální fotoaparáty a mnohé přístroje v průmyslu. Tento obvod nalezne opravdu široké spektrum uplatnění.¹¹

3.2 Blokové schéma

Vnitřní schéma obvodu FT232R je uvedeno v příloze I. Popis jednotlivých bloků je uveden níže.

3,3 V LDO Regulátor

Generuje referenční napětí o velikosti 3,3 V pro řízení USB přijímače/vysílače. Vyžaduje připojení externího blokovacího kondenzátoru o velikosti 100 nF mezi výstup 3V3OUT a GND. Poskytuje také napájení 3,3 V přes zvyšující (pull-up) rezistor 1,5 k Ω na vývod USBDP. Používá se hlavně pro napájení USB transceiveru a reset generátoru, méně pak pro napájení externí logiky, která vyžaduje hodnotu napětí 3,3 V s maximálním odběrem 50 mA.

USB Transceiver

Blok USB vysílač/přijímač obsahuje USB 1.1/USB 2.0 Full-Speed fyzické rozhraní pro USB kabel. Rozhraní poskytuje napětí úrovně + 3,3 V pro řízení rychlosti signalizace, zatímco diferenciální vstup přijímače a dva „single ended“ vstupy přijímače poskytují USB data. Tato funkce zahrnuje také interní USB sériové rezistory ukončené na datových linkách USB a 1,5 k Ω zvyšující rezistor na vývodu USBDP.

USB DPPL

Provádí detekci hodinového a datového signálu z příchozího NRZI kódování USB. Zpět generuje hodiny a datové signály pro blok sériového rozhraní (SIE).

Interní oscilátor 12 MHz (Internal 12 MHz oscillator)

Generuje referenční kmitočet 12 MHz. Je vstupem do násobičky kmitočtu, která jej zvýší 4x. Tento oscilátor je také používán jako referenční kmitočet pro blok SIE, USB Protocol Engine (UPE) a řadič UART FIFO.

Násobička kmitočtu (x4 Clock Multiplier)

Ze vstupního kmitočtu 12 MHz vytváří signály referenčního kmitočtu 48, 24, 12 a 6 MHz. Kmitočet 48 MHz používá USB DPPL a generátor přenosové rychlosti (Baud Rate Generator).

Seriál Interface Engine (SIE)

Provádí paralelně-sériovou konverzi USB dat a obráceně. V souladu s USB 2.0 zajišťuje vkládání a vyjímání synchronizačních bitů a CRC5/CRC6 generaci/testování v datovém proudu USB.

USB Protocol Engine (UPE)

Řídí tok dat ze zařízení koncového bodu ovládání USB. Zvládá nízké úrovně USB protokolu žádostí vytvořené řadičem USB host a příkazy pro ovládání funkčních parametrů UART v souladu se specifikací USB 2.0.

FIFO RX Buffer (128 B)

Data posílána z řadiče USB host z výstupního koncového bodu USB jsou uložena v paměti FIFO RX. Data se odstraní z vyrovnávací paměti vnějším vysílacím registrem UART pod kontrolou UART FIFO řadiče.

FIFO TX Buffer (256 B)

Data z přijímacího UART registru se ukládají do vyrovnávací paměti FIFO TX. Řadič USB host odstraňuje data z vyrovnávací paměti FIFO TX na základě požadavku USB na data ze vstupního koncového bodu.

Řadič UART FIFO (UART FIFO Controller)

Ovládá přenos mezi vyrovnávací paměti FIFO RX/TX a vysílacím/přijímacím registrem UART.

Řadič UART (UART Controller)

Řadič UART pracuje s programovatelnými inverzními signály a s vysokou úrovní. Spolu s UART FIFO řadičem zvládá přenos dat mezi FIFO RX a FIFO TX buffery a UART registrů příjmu a vysílání. Provádí asynchronní 7 nebo 8 bitovou paralelně/sériovou a sériově/paralelní konverzi dat na RS232 (RS422 , RS485) rozhraní.

Mezi řídicí signály podporované jednotkou UART patří RTS, CTS, DSR, DTR, DCD, a RI. Jejich význam bude vysvětlen dále. UART také poskytuje aktivační signál vysílače (TXDEN) k ovládání s vysílačem RS485. Jsou také podporovány volby RTS/CTS, DSR/DTR a XON/XOFF handshaking. Požaduje-li se handshaking, je řešen hardwarově pro získání co nejkratší odezvy.

Pomocí UART lze také řešit RS232 přerušení a detekci stavu linek, mimo to je schopen každý ze signálu invertovat a má nastavitelnou vysokou úroveň priority. Obě tyto funkce lze konfigurovat v EEPROM.

Generátor přenosové rychlosti (Baud Rate Generator)

Generátor přenosové rychlosti nabízí 16x hodinový vstup do UART řadiče z referenčního kmitočtu 48 MHz. Skládá se ze 14bitové předděličky a 3bitového registru pro jemné doladění přenosové rychlosti (dělí celým číslem + zlomek nebo tzv. „sub-integer“). Tím je určena přenosová rychlost UART, která je naprogramovatelná od 183 Bd až do 3 MBd. FT232R podporuje všechny tyto standardní přenosové rychlosti. Dosažitelné nestandardní rychlosti se musí vypočítat.

Reset Generátor

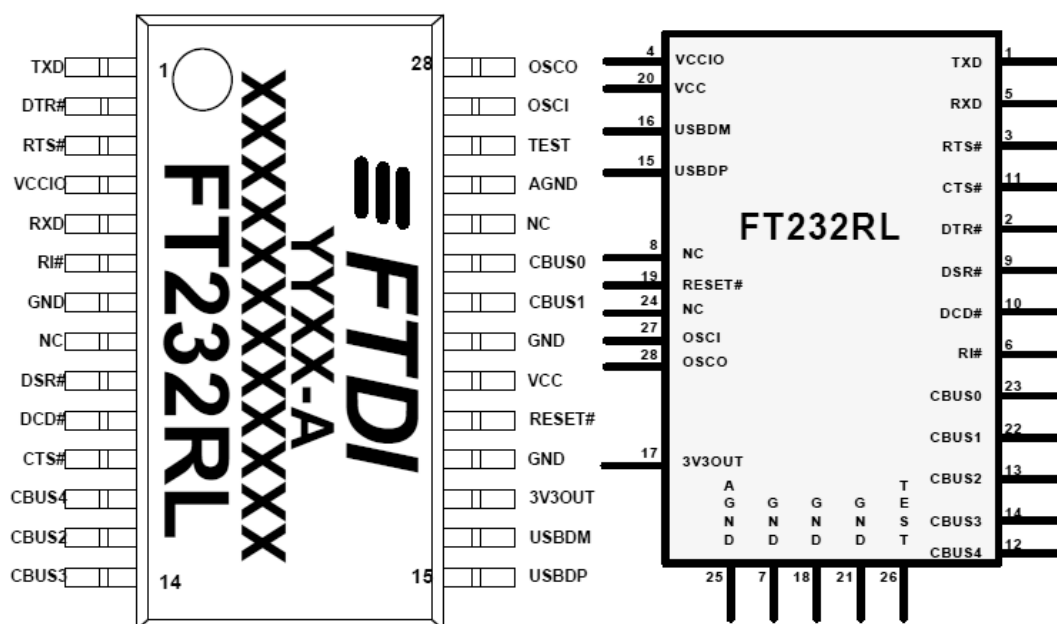
Integrovaný generátor resetu zajišťuje spolehlivý reset po připojení napájení (power-on reset). Vstupní pin RESET# umožňuje reset FT232R od vnějšího zdroje. Tento pin je možné připojit na pin VCC nebo jej nechat nepřipojený, pokud není používán.

Interní EEPROM

Integrovaná paměť typu EEPROM se používá k ukládání jednotlivých položek deskriptoru jako je USB Vendor ID (VID), Product ID (PID), sériové číslo zařízení, řetězec popisu produktu a další USB konfigurace. Také se používá pro nastavení funkce pinu CBUS. FT232R je dodáván s interní před-naprogramovatelnou EEPROM. Uživatelská oblast vnitřní EEPROM je k dispozici pro návrhy systému a ukládání dat. Změnu deskriptoru této paměti lze naprogramovat v obvodu pomocí USB. K tomu nám slouží software firmy FTDI s názvem MPROG, který lze stáhnout z jejich webových stránek.¹²

¹² FT232R USB UART IC Data Sheet [online].

3.3 Integrovaný obvod a schématická značka



Obr. 3.2 Rozmístění jednotlivých vývodů na čipu a schématická značka

Zdroj: *FT232R USB UART IC Data Sheet* [online].

3.4 Popis jednotlivých vývodů

U signálů aktivních v logické 0 je za názvem přidána značka #.

Tab. 3.1 Skupina vývodů USB rozhraní

č.pinu	Název	Typ	Popis
15	USBDP	Vstupně/výstupní	USB signál D+ (obsahuje pull-up rezistor hodnoty 1,5 kΩ zapojený k pinu 3V3OUT)
16	USBDM	Vstupně/výstupní	USB signál D- (obsahuje rezistor zapojený do série)

Zdroj: *FT232R USB UART IC Data Sheet* [online].

Tab. 3.2 Skupina vývodů napájení a zem

č.pinu	Název	Typ	Popis
4	VCCIO	Napájecí	Napájení od +1,8 V až do + 5, 25 V pro UART rozhraní a skupinu pinů CBUS (1, 2, 3, 5, 6, 9 – 14, 22, 23). V architektuře napájení pomocí USB sběrnice lze připojit tento pin na vývod 3V3OUT pro řízení 3,3 V logiky, nebo připojit na VCC pin pro řízení 5 V CMOS logiky. Tento pin může také dodávat externí napětí velikosti + 1,8 V až 2,8 V pro řízení výstupů a nižší úrovně. V tomto případě by mělo toto napětí pocházet ze stejného jako napětí VCC. To znamená, že pro napájení ze sběrnice USB, musí být použitý regulátor napájený +5 V
7, 18, 21	GND		Zem
17	3V3OUT	Výstupní	Výstupní napětí +3,3 V z integrovaného LDO regulátoru. Oddělení na zem musí být přes kondenzátor 100 nF. Hlavní úlohou tohoto pinu je dodávat +3,3 V interní napájení pro USB transceiver a pull up rezistor 1,5 k Ω na pinu USBDP
20	VCC	Napájecí	+3,3 V až 5,25 V napájení obvodu
25	AGND	Napájecí	Analogová zem pro interní násobičku

Zdroj: *FT232R USB UART IC Data Sheet* [online].

Tab. 3.3 Skupina různých signálových vývodů

č. pinu	Název	Typ	Popis
8, 24	NC	Nezapojený	Nezapojený pin. Může se připojit na libovolný potenciál
19	RESET#	Vstupní	Resetovací pin. Pomocí vnějšího zařízení lze resetovat celý obvod. Pokud je nepotřebný, může být nezapojený nebo přivedený na VCC
26	TEST	Vstupní	Nastavuje obvod do režimu test IC. Pro normální chod musí být přiveden na zem, jinak bude obvod hlásit chybu
27	OSCI	Vstupní	Vstup pro oscilátor 12 MHz. Obvykle nezapojený
28	OSCO	Výstupní	Výstup z oscilátoru 12 MHz. Pokud je použit vnitřní oscilátor, zůstává nezapojený

Zdroj: *FT232R USB UART IC Data Sheet* [online].

Tab. 3.3 Skupina vývodů UART rozhraní a CBUS

Číslo pinu	Název	Typ	Popis
1	TXD	Výstupní	Vysílání asynchronních dat
2	DTR#	Výstupní	Připravenost zařízení řídit přenos, řídicí signál
3	RTS#	Výstupní	Odeslání požadavku pro řízení přenosu, řídicí signál
5	RXD	Vstupní	Příjem asynchronních dat
6	RI#	Vstupní	(Ring Indicator) použití pro Remote Wake up
9	DSR#	Vstupní	Povolení přenosu dat
10	DCD#	Vstupní	Detekce signálu na lince
11	CTS#	Vstupní	Volná linka pro přenos dat
12	CBUS4	Vstupně/výstupní	Nastavitelný CBUS výstupní pin. Nastavená hodnota je SLEEP#
13	CBUS2	Vstupně/výstupní	Nastavitelný CBUS výstupní pin. Nastavená hodnota je TXDEN
14	CBUS3	Vstupně/výstupní	Nastavitelný CBUS výstupní pin. Nastavená hodnota je PWREN#
22	CBUS1	Vstupně/výstupní	Nastavitelný CBUS výstupní pin. Nastavená hodnota je TXLED#
23	CBUS0	Vstupně/výstupní	Nastavitelný CBUS výstupní pin. Nastavená hodnota je RXLED#

Zdroj: *FT232R USB UART IC Data Sheet* [online].

4 Popis obvodu MAX213

Jedná se o integrovaný obvod, podporující příjem a vysílání dat na linku RS232, kde nemá k dispozici napájení ± 12 V. Je napájen +5 V a vyžaduje připojení externích kondenzátorů. Převádí +5 V na ± 9 V potřebné pro výstupní kanály RS232. K tomu využívá zdvojovač napětí a invertor. Přenosová rychlost může dosáhnout 120 kb/s. Obvod se dodává v integrované podobě v pouzdře SO nebo SSOP s počtem 28 pinů. Integrovaný obvod a jeho vnitřní struktura jsou znázorněny na Obr. 4.1. Mimo napájení a vývody pro připojení externích kapacitorů obsahuje 4 vysílače, 5 přijímačů a dva speciální piny EN a SHDN. Prvně jmenovaný slouží pro řízení příjmu dat a je aktivní v logické 1 a druhý slouží pro přerušení provozu a je aktivní v logické 0.¹³

¹³ *MAX200 - MAX213 Data Sheet* [online].

5 Převodník USB na COM

5.1 Obvodové řešení

Příkladem použití obou výše uvedených integrovaných obvodů je převodník zajišťující přenos mezi USB a RS232, který umožňuje plně hardwarové řízení toku dat.

K připojení UART rozhraní FT232R k převodníku TTL úrovní na RS232, je na výběr z nepřeberného množství převodníků. V mém zapojení jsem využil integrovaný obvod MAX213CWI v pouzdře SO s 28 vývody. Výhodný je zde již zmiňovaný pin SHDN#, který umožňuje řídit odběr zařízení během režimu spánku USB. Přenosová rychlost může dosáhnout až 115,2 kBd. Pro zobrazení příjmu nebo vysílání jsou použity dvě LED diody, připojené na vývody CBUS0 a CBUS1, které jsou nastavené jako TXLED# respektive RXLED#. Převodník je napájený pomocí sběrnice USB a je nutné dodržet některá pravidla pro tento způsob napájení:¹⁴

- 1) po připojení nesmí být odběr na zařízení více než 100 mA,
- 2) v režimu spánku nesmí spotřeba přesáhnout 2,5 mA
- 3) zařízení se spotřebou vyšší než 100 mA musí mít jeden pin CBUS nakonfigurovaný jako PWREN# a využívat jej k udržení odběru pod 100 mA, respektive pod 2,5 mA v režimu spánku
- 4) zařízení, které má spotřebu vyšší než 100 mA nesmí být do sběrnice USB napojené přes hub
- 5) žádné zařízení nemůže odebírat více jak 500 mA

Deskriptory ve vnitřní paměti EEPROM by měly být naprogramovány tak, aby odpovídaly skutečnému proudu zařízení. Feritová perlička, připojená do série s napájením získaným ze sběrnice USB, snižuje EMI rušení z obvodu FT232R a přidružených obvodů, aby se dál nešířil po USB kabelu k USB host. Pokud využijeme funkci PWREN# pomocí CBUS, měl by být propojen s VCCIO rezistorem 10 kΩ.¹⁴

5.2 Instalace ovladače pro Windows XP

Máme na výběr ze dvou typů ovladačů:

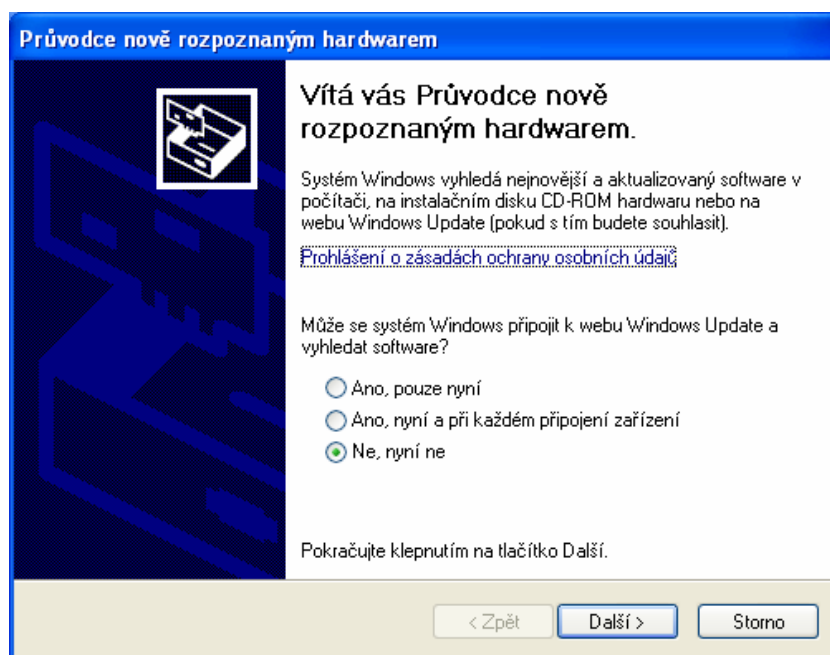
- 1) CDM – kombinovaný model ovladače, zahrnuje rozhraní D2XX a virtuální port COM.
- 2) VCP – virtuální port COM, emuluje činnost rozhraní RS232.

Pro instalaci CDM ovladače od firmy FTDI pro Windows XP je možné použít postup podle následujících pokynů:¹⁵

¹⁴ FT232R USB UART IC Data Sheet[online].

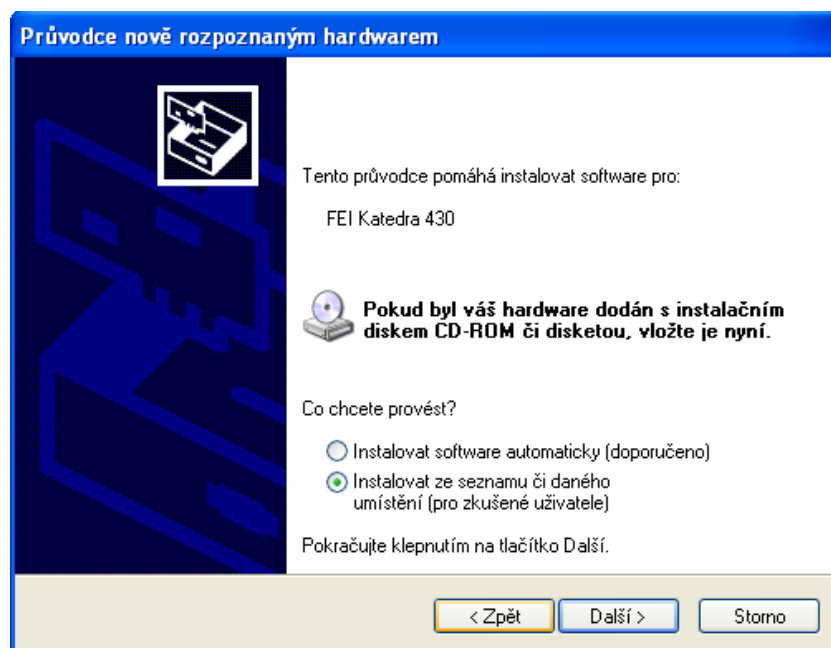
¹⁵ FTDI Drivers Installation guide for Windows XP [online].

- 1) Pokud je nainstalován jiný ovladač podobného typu, je nutné tento původní ovladač odinstalovat.
- 2) Poté stáhnout nejnovější CDM ovladač z webových stránek firmy FTDI, rozbalit jej a umístit na počítač.
- 3) Při používání systému Windows XP nebo Windows XP SP 1, je nutné odpojit tento operační systém od internetu. Po dokončení instalace je možné jej opět aktivovat. Při používání Windows XP SP 2 je možné ponechat připojení aktivní.
- 4) Připojit zařízení do volného portu USB na PC. Windows spustí Průvodce nově rozpoznaným hardwarem. Pokud není k dispozici připojení k internetu nebo Windows XP Service Pack 2, je nastaven tak, aby se dotázal před připojením k systému Windows Update. Zde je třeba z nabízených možností zvolit „Ne, nyní ne“ a poté pokračovat tlačítkem „Další“ v instalaci. Celý postup je naznačen na Obr. 5.1.



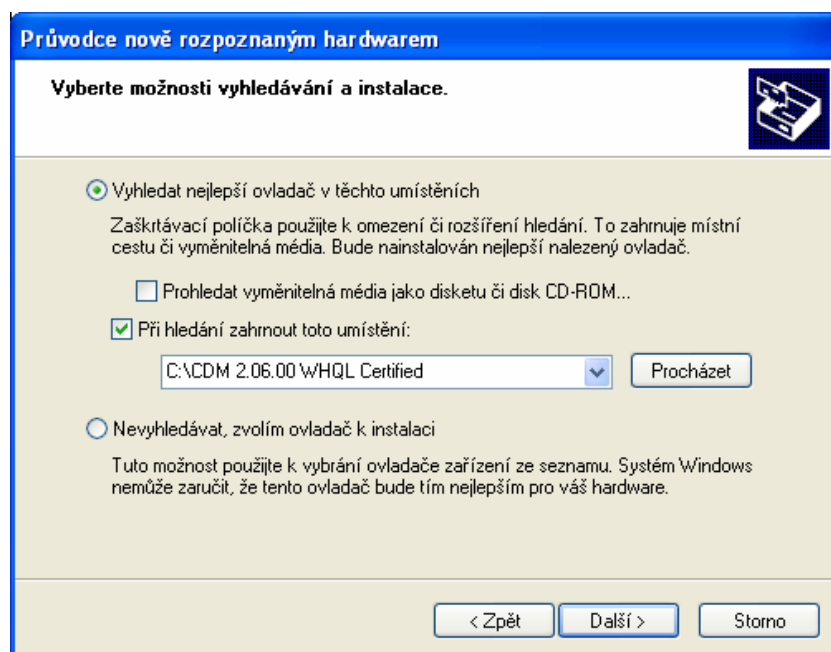
Obr. 5.1 Okno průvodce nově rozpoznaným hardwarem

- 5) Vybrat „Instalovat ze seznamu či daného umístění (pro zkušené uživatele)“, podle Obr. 5.2 a pokračovat tlačítkem „Další“.



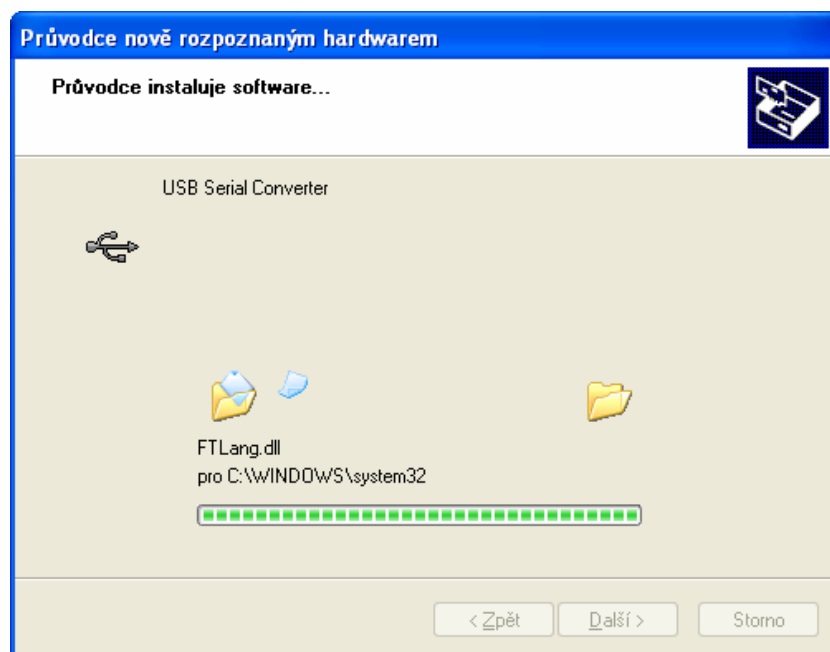
Obr. 5.2 Okno instalace

- 6) Zvolit „Při hledání zahrnout toto umístění:“ a zadat cestu k souboru („C:\CDM 2.06.00 WHQL Certified“), nebo vyhledat kliknutím na tlačítko „Procházet“. Jakmile je cesta zapsána do pole, podle Obr. 5.3, je možné pokračovat tlačítkem „Další“.



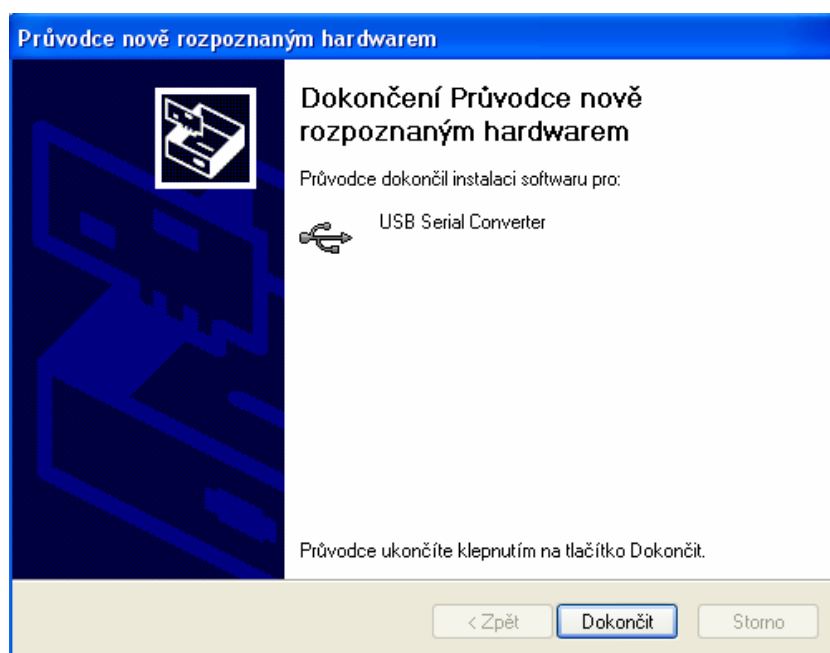
Obr. 5.3 Nastavení pro vyhledávání souboru ovladače

- 7) Na Obr. 5.4 je zobrazeno, jak Windows kopíruje jednotlivé soubory.



Obr. 5.4 Průběh kopírování

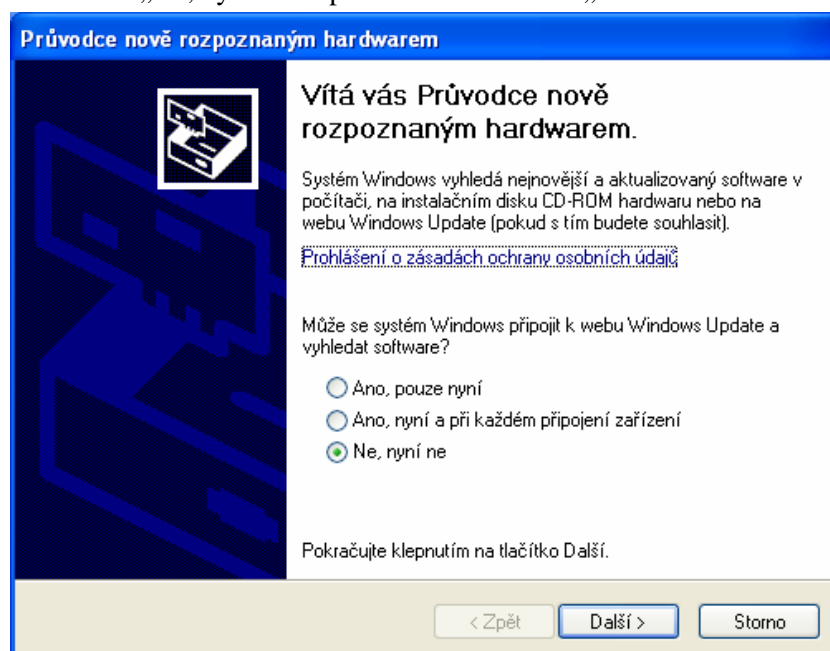
- 8) Po dokončení instalace pak Windows podá zprávu podle Obr. 5.5. Kliknutím na tlačítko „Dokončit“ je dokončena instalace ovladače USB převodníku zařízení.



Obr. 5.5 Dokončení instalace

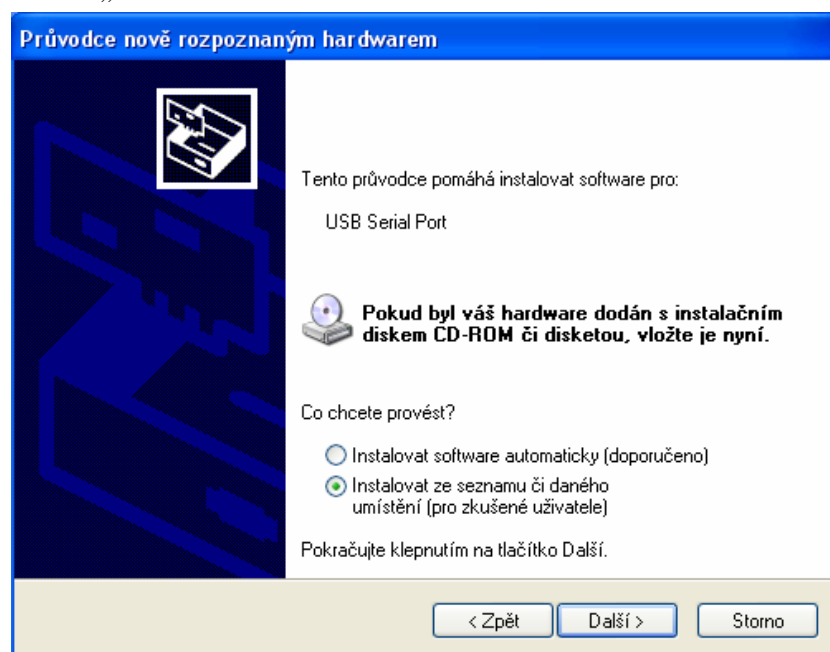
Pro emulaci COM portu je načten ovladač a jeho instalace probíhá podle následujících kroků, podobných předchozí instalaci.

- 1) Průvodce nově rozpoznaným hardwarem spustí instalaci ovladače virtuálního COM portu. Zvolit „Ne, nyní ne“ a pokračovat tlačítkem „Další“.



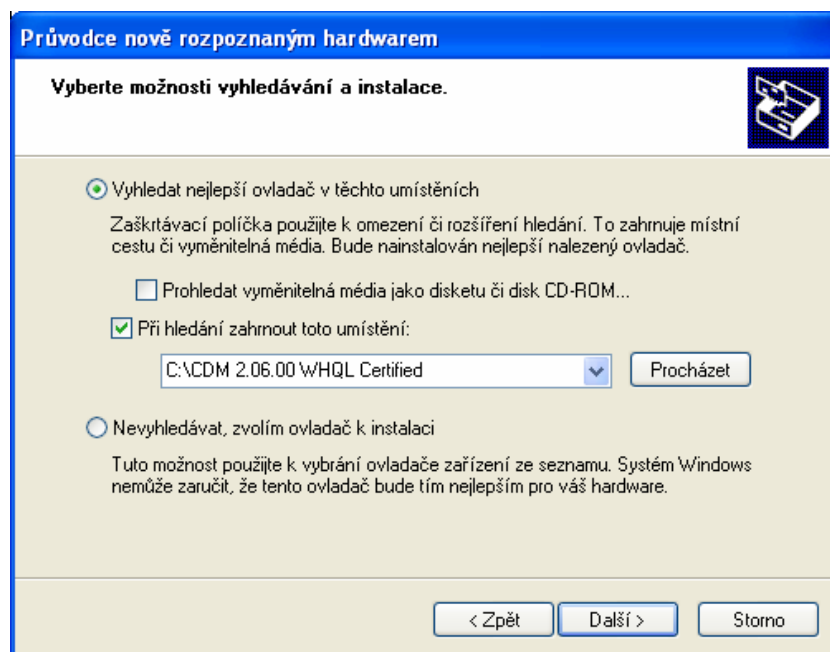
Obr. 5.6 Okno průvodce nově rozpoznaným hardwarem

- 2) Vybrat „Instalovat ze seznamu či daného umístění“, podle Obr. 5.7 a pokračovat tlačítkem „Další“.



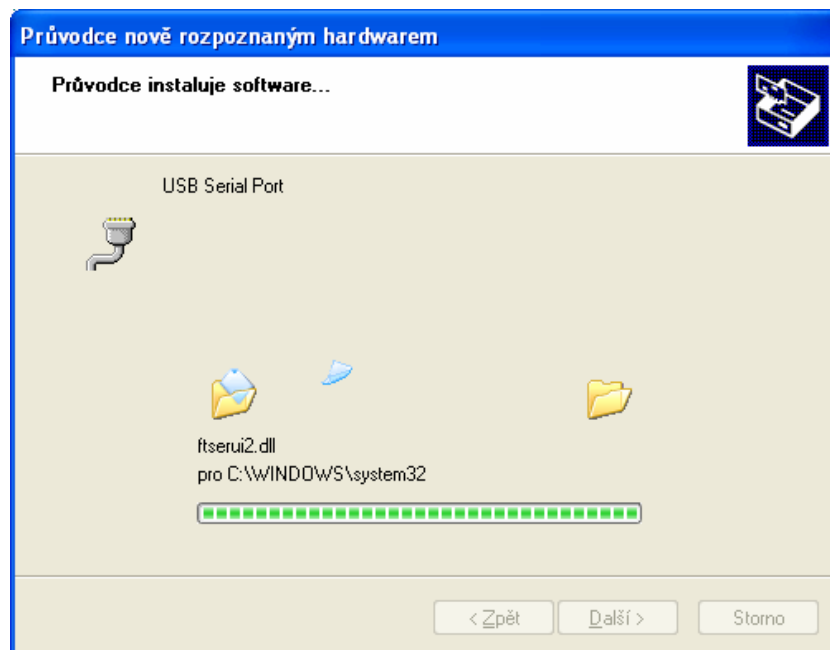
Obr. 5.7 Instalace ze seznamu či daného umístění

- 3) Zvolit „Při hledání zahrnout toto umístění:“ a zadat cestu k souboru („C:\CDM 2.06.00 WHQL Certified“), nebo vyhledat kliknutím na tlačítko „Procházet“. Jakmile je cesta zapsána do pole, podle Obr. 5.3, je možné pokračovat tlačítkem „Další“.



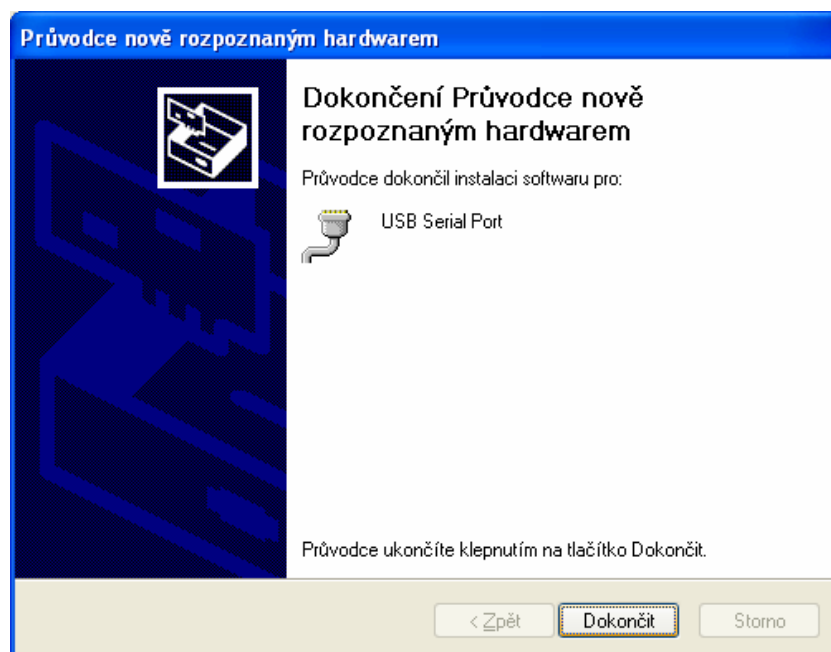
Obr. 5.8 Nastavení pro vyhledávání souboru ovladače

- 4) Na Obr. 5.9 je zobrazeno, jak Windows kopíruje jednotlivé soubory.



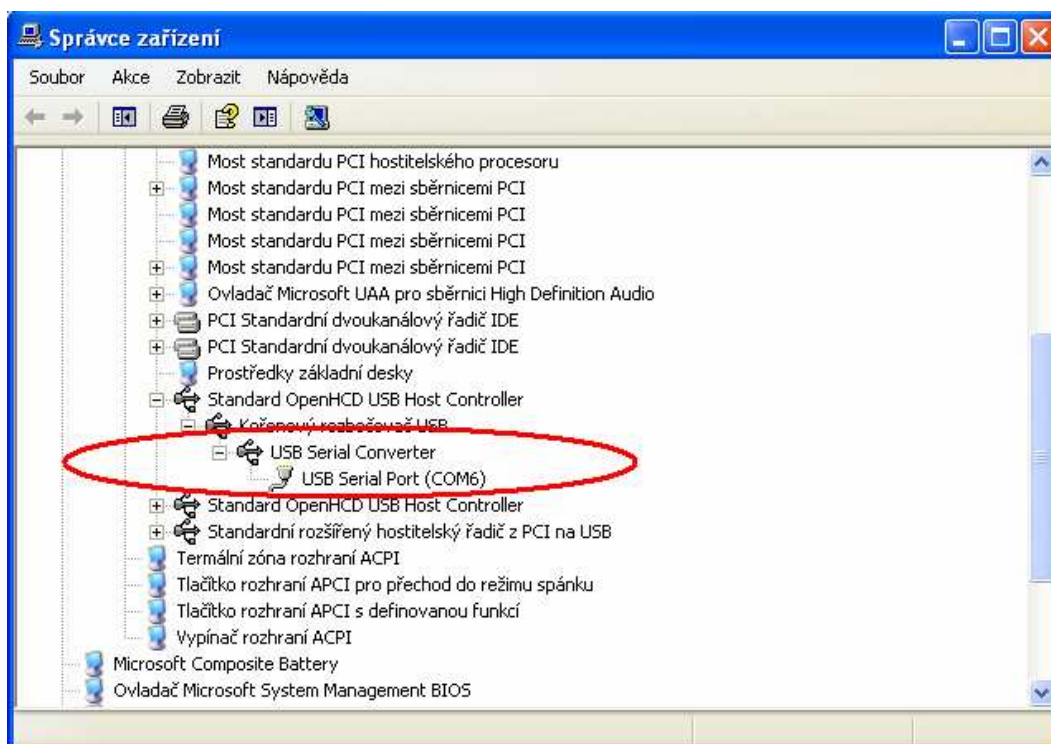
Obr. 5.9 Průběh kopírování souborů

- 5) Windows by pak měl zobrazit zprávu o tom, že instalace byla úspěšně dokončena (Obr. 5.10). Kliknutím na tlačítko „Dokončit“ dokončí instalaci prvního portu zařízení.



Obr. 5.10 Dokončení instalace ovladače pro emulaci COM portu

Otevřít Správce zařízení (nacházející se v „Tento počítač\vlastnosti“, pak zvolit „Hardware“ a klepnout na tlačítko „Správce zařízení“) a kliknout na lištu na položku „Zobrazit“. Vybrat „Zařízení podle připojení“, rozbalit si položky podle Obr. 5.11. Přístroj se zobrazí jako „USB Serial Converter s nálepkou USB Serial Port.



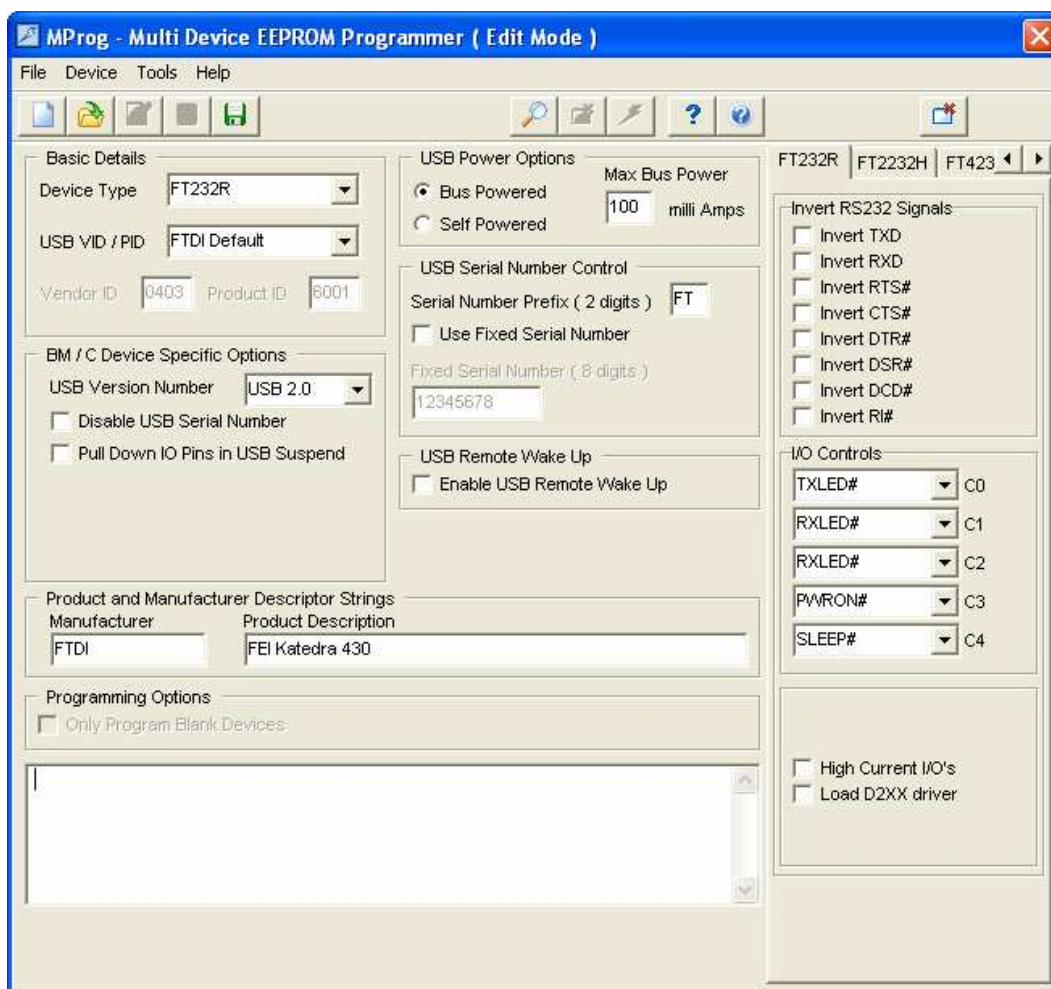
Obr. 5.11 Zobrazení zařízení podle připojení pomocí Správce zařízení

5.3 Naprogramování vnitřní EEPROM obvodu FT232R

Integrovaná paměť typu EEPROM je schopna uchovat údaje až 15 let. Maximální počet zapisovacích a čtecích cyklů je 100 000.¹⁶ Po power-on resetu nebo po resetu USB testuje obvod FT232R svou vnitřní paměť a načte si údaje USB konfigurace deskriptoru, které jsou v ní uloženy. Je možné některé hodnoty změnit a naprogramovat. K tomu nám slouží utilita FTDI program MPROG. Pro čip FT232R je nutné stáhnout verzi 2.8 a vyšší. Okno programátoru je znázorněno na obrázku Obr. 5.12. Dále jsou popsány některé jeho funkce, které jsou nastaveny při výrobě a které lze změnit.

Na začátku si zvolím typ zařízení FT232R. USB VID/PID ponechám beze změny. Dále mám možnost zvolit typ napájení. Převodník napájím pomocí USB s maximálním odběrem 100 mA, jak jsem uvedl výše. V další nabídce můžu všechny signály RS232 invertovat a nastavit hodnoty pro CBUS0 až CBUS4. Pro zobrazování vysílání a příjmu dat pomocí dvou LED diod si nastavím CBUS0 jako vysílání TXLED# a CBUS1 jako příjem RXLED#. Verzi USB vyberu 2.0. Do kolonky Product and Manufacturer Descriptor Strings můžu napsat libovolný řetězec popisující výrobce a produkt. Zvolil jsem řetězec FEI Katedra 430. Nakonec lze nastavení uložit a po připojení převodníku přes USB i naprogramovat pomocí Device\Program nebo kliknutím na ikonu v horní liště. Po naprogramování se mi zařízení po připojení do PC přihlásí jako „FEI Katedra 430.“

¹⁶ FT232R USB UART IC Data Sheet[online].



Obr. 5.12 Okno programátoru paměti EEPROM

Závěr

Hlavním úkolem mé práce bylo zhotovit kartu převodníku USB/COM a následně ověřit její funkčnost. Při návrhu jsem využil prostředí programu Eagle, ve kterém jsem už dříve pracoval a s návrhem zapojení jsem neměl větší problém. Při výběru součástek jsem kontaktoval prostřednictvím e-mailu firmu Maxim, která mi zdarma zaslala 6 zkušebních vzorku obvodu MAX213. Vyleptání desky plošného spoje a následné osazení součástkami proběhlo bez větších komplikací. Při prvním připojení zařízení k počítači přes USB konektor jsem nainstaloval ovladač. Pro připojení mezi dva počítače jsem použil propojovací kabel s konektory D-SUB 9 zásuvka (f)/D-SUB 9 zásuvka(f) a na druhé straně propojovací kabel USB 2.0 A zástrčka/A zástrčka. Při ověřování funkčnosti převodníku jsem využil program HyperTerminal. Přes tento program jsem posílal data mezi dvěma počítači. Tento způsob jsem využil i při vypracování laboratorní úlohy.

Vnitřní paměť typu EEPROM obvodu FT232R jsem naprogramoval tak, aby při dalším připojení se zařízení ohlásilo jako „FEI Katedra 430“. Konfigurovatelné vývody CBUS0 a CBUS1 jsou nastavené jako TXLED respektive RXLED, můžeme pomocí připojených LED diod na tyto piny detekovat přenos přímo na převodníku.

V teoretické části práce jsem popsal všechny hlavní součástky převodníku a popsal způsob přenosu dat mezi USB a UART. Vycházel jsem převážně z anglických textů.

Maximální rychlost přenosu u obvodu MAX213 je 120 kb/s, pro zvýšení přenosového výkonu je možné využít jiného obvodu firmy Maxim.

Literatura

- [1] MATOUŠEK, David. *USB PRAKTICKY s obvody FTD -1.díl*. Praha: BEN - technická literatura, 2003. 272 s.
- [2] KAINKA, Burkhard. *Využití rozhraní PC - Měření, řízení a regulace pomocí standardních portů PC*. Ostrava: HEL, 1996. 134 s.
- [3] KAINKA, Burkhard. *USB - měření, řízení a regulace pomocí sběrnice USB*. Praha: BEN - technická literatura, 2003. 248 s.
- [4] TIŠNOVSKÝ, Pavel. *Root.cz* [online]. 2008 [cit. 2010-04-26]. Komunikace pomocí sériového portu RS-232C. Dostupné z WWW: <<http://www.root.cz/clanky/komunikace-pomoci-serioveho-portu-rs-232c/>>.
- [5] OLMR, Vít. *Hw.cz* [online]. 2005 [cit. 2010-05-02]. HW server představuje - Sériová linka RS-232. Dostupné z WWW: <<http://hw.cz/rs-232#urovne>>.
- [6] *FT232R USB UART IC Data Sheet*[online]. Glasgow: Future Technology Devices International Limited, 2009 [cit. 2010-05-03]. Dostupné z WWW: <<http://www.ftdichip.com/Documents/DataSheets.htm>>.
- [7] *MAX200 - MAX213 Data Sheet* [online]. Sunnyvale: Maxim Integrated Products, 2009 [cit. 2010-05-03]. Dostupné z WWW: <http://www.maxim-ic.com/quick_view2.cfm/qv_pk/1369>.
- [8] *FTDI Drivers Installation guide for Windows XP* [online]. Glasgow: Future Technology Devices International Limited, 2008 [cit. 2010-05-03]. Dostupné z WWW: <<http://www.ftdichip.com/Documents/InstallGuides.htm>>.